

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
7. Februar 2002 (07.02.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/10332 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **C12D 7/06**,
B21B 31/06

[DE/DE]; Winkensstrasse 6, 52134 Herzogenrath (DE).
LINNEMANN, Wolfgang [DE/DE]; Maria-Merian-Weg
7, 52146 Würselen (DE). **KITTEL, Stefan** [DE/DE];
Altdorfstrasse 27, 52066 Aachen (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/02601

(74) Anwalt: **BAUER, Dirk**; Am Keilbusch 4, 52080 Aachen
(DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:
17. Juli 2001 (17.07.2001)

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,
CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE,
GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ,
LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN,
MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI,
SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU,
ZA, ZW.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO-Patent (GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW),
eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK,
ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR),

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

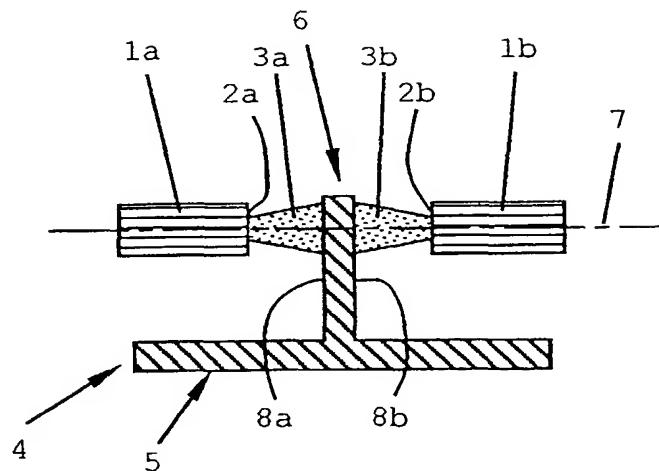
(30) Angaben zur Priorität:
100 37 029.2 27. Juli 2000 (27.07.2000) DE

(71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): **KUGELSTRAHLZENTRUM AACHEN GMBH**
[DE/DE]; Weststrasse 24, 52074 Aachen (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR SHAPING STRUCTURAL PARTS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM UMFORMEN VON STRUKTURAUTEILEN



(57) Abstract: The invention relates to a method for shaping structural parts, in particular, those for use in aviation and space travel. The structural parts comprise a plate-shaped base body and ribs. Said ribs are longitudinally extended, are approximately parallel to one another, are joined to the base body while forming one piece, and protrude from the base body in orthogonal manner. The part is shaped by particles of an abrasive, which strike the surface areas of the structural part at a high velocity whereby effecting a plastic material shaping. The aim of the invention is to realize a method that can be carried out in a simple and cost-effective manner with which diverse uniaxial and multiaxial part geometries can be attained. To this end, the invention provides that opposite surface areas of the ribs, said surface areas being located on opposite longitudinal sides of each rib, are simultaneously subjected to the action of particles of the abrasive.

WO 02/10332 A1

(57) Zusammenfassung: Vorgeschlagen wird ein Verfahren zum Umformen von Strukturauteilen, insbesondere solchen zur Verwendung in der Luft- und Raumfahrt. Die Strukturauteile weisen einen plattenförmigen Grundkörper und ungefähr rechtwinklig davon ausgehende einstückig mit dem Grundkörper verbundene, langgestreckte und ungefähr parallel zueinander verlaufende Rippen auf. Die Umformung des Bauteils erfolgt durch Partikel eines Strahlmittels, die unter hoher Geschwindigkeit auf Oberflächenbereiche des Strukturauteils auftreffen und eineplastische Materialverformung bewirken. Um ein einfaches und kostengünstiges Verfahren zu erhalten, mit dem sich vielfältige einachsige und mehrachsige Bauteilgeometrien erzielen lassen, wird vorgeschlagen, daß auf gegenüberliegenden Längsseiten jeweils einer Rippe angeordnete, sich gegenüberliegende Oberflächenbereiche der Rippen gleichzeitig mit Partikeln des Strahlmittels beaufschlagt werden.



OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("*Guidance Notes on Codes and Abbreviations*") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Verfahren und Vorrichtung zum Umformen
von Strukturauteilen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Umformen von Strukturauteilen, insbesondere

- 5 solchen zur Verwendung in der Luft- und Raumfahrt, wobei die Strukturauteile einen plattenförmigen Grundkörper und ungefähr rechtwinklig davon ausgehende, einstückig mit dem Grundkörper verbundene, langgestreckte und ungefähr parallel zueinander verlaufende Rippen besitzen, wobei die Umformung durch Partikel eines Strahlmittels erfolgt, die mit hoher Geschwindigkeit auf Oberflächenbereiche des Strukturauteils auftreffen und eine
10 plastische Materialverformung bewirken.

Speziell in der Luft- und Raumfahrttechnik werden häufig sogenannte Strukturauteile bzw. Integralbauteile eingesetzt, die – meist einseitig, unter Umständen jedoch auch beidseitig – parallel zueinander verlaufende Rippen aufweisen, während die eventuell nicht mit Rippen versehene Seite eben ist. Falls sowohl in Längsrichtung als auch in Querrichtung des Bauteils

- 15 Rippen vorhanden sind, die ungefähr senkrecht zueinander verlaufen, erhält das Bauteil eine Kassettenstruktur. Um derartige Bauteile zu krümmen, müssen aufwendige Verfahren angewandt werden, da die Rippen – insbesondere wenn sie parallel zur Krümmungsrichtung verlaufen – einen erheblichen Umformwiderstand darstellen.

Umformverfahren der eingangs beschriebenen Art werden in der Luft- und Raumfahrttechnik

- 20 bereits seit langer Zeit zur Krümmung von großflächigen Bauteilen, etwa von Tragflächen oder Rumpfschalen, angewendet. Bei der Umformung von Strukturauteilen kommen hauptsächlich Strahlmittel mit einem Partikeldurchmesser von bis zu 2 - 4 mm zum Einsatz. Während das Strahlmittel zur großflächigen Bearbeitung der Bauteile mit Hilfe von Schleuderrädern aufgebracht wird, werden zur örtlich begrenzten Umformung

- 25 Handstrahllanlagen eingesetzt. Diese Handstrahllanlagen werden auch zum Krümmen von Rippen verwendet. Um aufgrund der Strahlgeometrie und des Strahldurchmessers die üblicherweise flachen Rippen gezielt verformen zu können, werden die zu bearbeitenden Rippen partiell mit einer Maske abgedeckt, damit in den umzuformenden Rippenbereichen der gewünschte Dehnungsgradient erzielt wird. Zur Abdeckung der nicht zu
30 beaufschlagenden Flächenabschnitte der Rippen wird Gummi oder ein anders stoßabsorbierendes Material eingesetzt. Die Abdeckung der Rippen erfordert einen sehr großen Aufwand, insbesondere wenn mehrere Masken angefertigt werden müssen.

- 2 -

Als Alternative zu dem vorbeschriebenen Kugelstrahlverfahren ist aus dem Stand der Technik das sogenannte Zangenverfahren (Eckhold-Verfahren) bekannt. Bei diesen Verfahren packt eine Zange mit einer Art Klammergriff die Rippe mit zwei beabstandeten Greifbacken an zwei benachbarten Stellen. Durch eine kurze Bewegung der beiden Greifbacken voneinander

5 weg oder aufeinander zu, wird die Rippe entweder lokal gedehnt oder gestaucht. Durch wiederholte Anwendung entlang der Längserstreckung der Rippe können kontinuierliche konvexe oder konkave Krümmungen erzeugt werden. Die Krümmung kann durch den Zangenhub und die Anzahl der Wiederholungen dieser Anwendungen beeinflußt werden.

10 Auch wenn derartige Zangenverfahren automatisierbar sind, ist es als Nachteil anzusehen, daß aufgrund der geringen Dehnungen pro Zangenhub der Umformvorgang eine sehr große Zeit erfordert. Trotz der grundsätzlich möglichen Automation erfordert die Durchführung dieser Zangenverfahren vom Bediener viel Erfahrung, insbesondere wegen der Knickgefahr und des Rückfederungsverhaltens der Rippen.

15 Allgemein bekannt sind ferner auch sogenannte Kriechumformverfahren (Age creep forming) für Strukturauteile. Das Bauteil wird in diesem Fall durch spanende, insbesondere durch Fräsbearbeitung zunächst in einer ebenen Gestalt hergestellt. Anschließend wird das Bauteil in eine Form eingelegt, die die Außenkonturen des fertigen Bauteils aufweist. Unter Einfluß von Druck und Temperatur wird das Bauteil an die Form angepaßt. Dieser Umformungsprozeß dauert in der Regel mehrere Stunden. Ein weiterer Nachteil besteht darin, 20 daß für jede Geometrie spezielle Formen angefertigt werden müssen. Außerdem ist es erforderlich, die Parameter, Temperatur, Druck und Zeit für jedes Bauteil separat zu ermitteln. Außerdem scheidet die Anwendung des Kriechumformverfahrens für Werkstoffe aus, die für die dabei vorgenommene Wärmebehandlung nicht geeignet sind. Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, das Bauteil in der Form um ein gewisses Maß zu überdehnen, um die 25 Rückfederung nach Entfernung des Bauteils aus der Form zu kompensieren, damit die exakte gewünschte Bauteilgeometrie vorliegt.

Zum Stand der Technik zählt außerdem das aus der US 4,329,862 bekannte Verfahren zur Kugelstrahlumformung von plattenförmigen Bauteilen, insbesondere von Tragflügelstrukturen. Dabei ist jedoch nicht vorgesehen, daß die mit Strahlmittel zu 30 beaufschlagenden Tragflügelbauteile durch Rippen verstärkt sind. Die vorgenannte US-Patentschrift lehrt vielmehr, das Bauteil in einem ersten Schritt durch eine beidseitige Strahlmittelbeaufschlagung zu strecken und anschließend durch eine lediglich einseitige Strahlmittelbeaufschlagung in eine andere Richtung zu krümmen.

- 3 -

Schließlich besteht eine in der Praxis angewandte Methode zum Umformen von Strukturauteilen darin, diese mit Hilfe moderner CNC-Fräsmaschinen aus Vollmaterial zu fräsen. Abgesehen von dem erheblichen Materialaufwand ist dies lediglich bei schwach gekrümmten Strukturen möglich. Der Kostenaufwand für das in großer Dicke

- 5 bereitzustellende Rohmaterial ist erheblich. Daher ist dieses Verfahren – insbesondere für großflächige Bauteile – nur in sehr wenigen Fällen wirtschaftlich einsetzbar. Außerdem resultieren auch aus der spanenden Bearbeitung starke Rückfederungseffekte im fertigen Bauteil, die dessen Maßhaltigkeit beeinträchtigen.

- Der Erfahrung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Umformen von
10 Strukturauteilen vorzuschlagen, mit dem sich auf zuverlässige und kostengünstige Weise unterschiedlichste Geometrien an den fertig bearbeiteten Bauteilen realisieren lassen.

- Ausgehend von dem Umformverfahren der eingangs beschriebenen Art wird diese Aufgabe erfahrungsgemäß dadurch gelöst, daß auf gegenüberliegenden Längsseiten jeweils einer Rippe angeordnete, sich gegenüberliegende Oberflächenbereiche der Rippen gleichzeitig mit
15 Partikeln des Strahlmittels beaufschlagt werden.

- Da die beaufschlagten Oberflächenbereiche sich direkt gegenüber liegen, wird eine Verwerfung bzw. ein Verzug der Rippe in Richtung quer zu ihrer Längserstreckung sicher verhindert. Ein derartiger Verzug ist insbesondere dann zu befürchten wenn eine Rippe – wie beim Handstrahlverfahren nach dem Stand der Technik – lediglich einseitig mit Strahlmittel
20 beaufschlagt wird. Zum anderen wird durch das gleichzeitig von beiden Seiten her auf die Rippenoberfläche auftreffende Strahlmittel die Wirksamkeit jedes einzelnen Partikeltreffers erhöht. Die Energieverluste durch elastische Materialverformungen sind bei dem erfahrungsgemäßen Verfahren minimiert. Je nach dem, in welcher Höhe der Rippe – bezogen auf den Grundkörper – die beidseitige Strahlmittelbeaufschlagung gemäß dem
25 erfahrungsgemäßen Verfahren erfolgt, lassen sich sowohl konvexe als auch konkave Krümmungen des so behandelten Strukturauteils erzielen. Die Stärke des Krümmungsradius wird dabei durch die Größe und Geschwindigkeit der Partikel des Strahlmittels sowie die Dauer der Strahlbehandlung beeinflußt. Ein besonderer Vorteil des erfahrungsgemäßen Verfahrens ist darin zu sehen, daß die Umformung von Strukturauteilen ausschließlich durch
30 Beaufschlagung der Rippen erfolgen kann, so daß auf eine zusätzliche Behandlung des Grundkörpers verzichtet werden kann. Eine Automatisierung des vorgeschlagenen Verfahrens ist gleichfalls möglich, insbesondere wenn die Geometrie des behandelten Strukturauteils Online gemessen und in einer Regelstrategie zur Steuerung des Verfahrens einbezogen wird.

Nach einer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann entweder ein an einen Rippenfuß angrenzender Längsstreifen der Rippe oder ein an einen Rippenkopf angrenzender Längsstreifen der Rippe mit Partikeln des Strahlmittels beaufschlagt werden, wobei die Breite der Längsstreifen maximal der Höhe der Rippen entsprechen kann.

- 5 Im vorstehend zuerst genannten Fall werden die Längs- und/oder Querrippen des Bauteils im Fußbereich durch die Strahlmittelbeaufschlagung verlängert. Hieraus ergibt sich eine konkave Krümmung des Bauteils, wobei der Begriff konkav auf die mit den Rippen versehene Seite des plattenförmigen Grundkörpers bezogen ist.

- 10 Im alternativen Fall wird eine konvexe Krümmung des Bauteils durch eine Verlängerung der Längs- und/oder Querrippen im Kopfbereich, d. h. in der Nähe ihrer Längsrichtung verlaufenden Stirnseite, erzielt.

- Wird das erfindungsgemäße Verfahren bei Strukturauteilen mit einer Kassettenstruktur, d. h. mit sich kreuzenden Längs- und Querrippen, angewendet, so lassen sich sowohl einachsige als auch mehrachsige Bauteilkrümmungen und Abwicklungen erzeugen. Werden
15 beispielsweise die Längsrippen im Fußbereich verlängert, wohingegen die Querrippen im Kopfbereich verlängert werden, ergibt sich eine Kombination aus konkaver und konvexer Krümmung des Bauteils, wodurch eine sattelförmige Geometrie erzeugt wird. Bei Bauteilen die lediglich Längs- oder Querrippen aufweisen, lässt sich eine sattelförmige Struktur dadurch erzielen, daß eine Krümmung quer zur Längsrichtung der Rippen durch eine
20 Strahlmittelbehandlung des Grundkörpers in der nach dem Stand der Technik bekannten (einseitigen) Weise durchgeführt wird.

- Die Erfindung weiter ausgestaltend wird vorgeschlagen, daß die Partikel des Strahlmittels einen mittleren Durchmesser von mehr als 4 mm aufweisen. Hierdurch lassen sich auch Strukturauteile mit dickwandigen Rippen zuverlässig umformen. Großpartikel, insbesondere
25 Großkugeln mit einem Durchmesser von mehr als 4 mm, ermöglichen eine Durchdringung der Rippe bis in eine große Tiefe.

- Eine Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß die Partikel des Strahlmittels aus gegenüberliegenden, aufeinander zugerichteten Düsen einer Strahlvorrichtung austreten, die in Längsrichtung und in Hochrichtung der Rippen verfahren
30 wird. Hierdurch wird eine Automatisierung bei der Durchführung des Verfahrens sowie die Verwirklichung verschiedenster Geometrien ermöglicht.

- 5 -

Des weiteren ist es vorteilhaft, die Düsen synchron in die selbe Richtung und mit derselben Geschwindigkeit zu verfahren. Hierdurch wird sichergestellt, daß auch bei einer fortlaufenden Verlagerung des Behandlungsortes stets sich gegenüberliegende Oberflächenbereiche der Rippe beaufschlagt werden.

- 5 Eine Vorrichtung zum Umformen von Strukturauteilen, insbesondere solchen zur Verwendung in der Luft- und Raumfahrt, wobei die Strukturauteile einen plattenförmigen Grundkörper und rechtwinklig davon ausgehende, einstückig mit dem Grundkörper verbundene, langgestreckte und ungefähr parallel zueinander verlaufende Rippen besitzen, ermöglicht die Beaufschlagung von Oberflächenbereichen des Strukturauteils mit Partikeln
- 10 eines mit hoher Geschwindigkeit auftreffenden Strahlmittels, wodurch eine plastische Materialverformung bewirkt wird, und ist erfindungsgemäß durch mindestens zwei Düsen für einen gerichteten Austritt jeweils eines Partikelstrahls gekennzeichnet, wobei die beiden Partikelstrahlen aufeinander zugerichtet sind und die Düsen einen größeren Abstand voneinander aufweisen als die Dicke der Rippe. Vorzugsweise sind die Düsen in
- 15 Zwischenräume zwischen benachbarten Rippen plazierbar, wodurch es möglich ist, die Partikelstrahlen unter einem Winkel von ca. 90° auf die Rippenoberfläche zu richten.

Mit einer derartigen Vorrichtung läßt sich das zuvor beschriebenen Umformverfahren mit vergleichsweise einfachen Mitteln ausführen. Durch die feste Zuordnung der beiden Düsen bzw. der Austrittsrichtungen der Partikelstrahlen zueinander ist stets sichergestellt, daß sich 20 gegenüberliegende Oberflächenbereiche der Rippe beaufschlagt werden. Wenn die Düsen in Zwischenräumen zwischen benachbarten Rippen plazierbar sind, ist eine senkrechte Auf treffrichtung der Partikel auf die zu bearbeitenden Oberflächenbereiche möglich.

Schließlich ist gemäß der Erfindung noch vorgesehen, daß die Düsen gemeinsam in Längsrichtung und Hochrichtung der Rippen verfahrbar sind, wodurch sich auch bei großen 25 Bauteilen an unterschiedlichsten Stellen der Rippen Umformungen durchführen lassen. Es lassen sich somit eine Vielzahl von möglichen geometrischen Umformungen an dem umzuformenden Bauteil realisieren.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung die in der Zeichnung dargestellt ist, näher erläutert. Es zeigt:

- 30 Fig. 1 Eine Vorrichtung zum Umformen eines Strukturauteils mit zwei aufeinander zugerichteten Düsen;

- 6 -

Fig. 2a eine perspektivische Ansicht eines Ausschnitts eines Strukturauteils;

Fig. 2b eine Seitenansicht des Bauteils gemäß Figur 2a;

Fig. 2 c wie Figur 2 b, jedoch nach Herstellung einer konvexen Krümmung;

Fig. 3 a

5 bis 3c wie Figuren 2 a – 2 c, jedoch zur Herstellung einer konkaven Krümmung;

Fig. 4 die Dehnungsverteilung in einer Rippe bei konvexer Krümmung;

Fig. 5 wie Figur 4, jedoch bei konkaver Krümmung.

Figur 1 zeigt von einer Vorrichtung zum Umformen von Strukturauteilen lediglich zwei Düsen 1a und 1b, aus deren Vorderseite 2 a bzw. 2b jeweils ein sich leicht konisch

10 erweiternder Strahl 3a/ 3b eines partikelförmigen Strahlmittels austritt. Die Partikel des Strahlmittels besitzen eine Kugelform und weisen einen Durchmesser von mehr als 4 mm (beispielsweise 6 mm) auf. Die Zuführung des Strahlmittels zu den Düsen 1 a und 1 b sowie die weiteren Komponenten der Strahlvorrichtung sind allgemein bekannt und daher nicht näher dargestellt.

15 Mit der teilweise dargestellten Umformvorrichtung wird ein Strukturauteil 4 aus einem metallischen Material umgeformt. Dieses Strukturauteil 4 besteht aus einem plattenförmigen, lediglich abschnittsweise dargestellten Grundkörper 5 und einer Mehrzahl von rechtwinklig davon ausgehenden, einstückig mit dem Grundkörper 5 verbundenen Rippen 6, von denen der Übersichtlichkeit halber nur eine einzige abschnittsweise dargestellt ist. Die Rippen 6
20 verlaufen bei dem bearbeiteten Bauteil parallel und äquidistant in einem solchen Abstand zueinander, daß die Düsen 1a und 1b einschließlich der zugehörigen Zuführeinrichtung in den Zwischenräumen zwischen benachbarten Rippen 6 positionierbar sind. Der Abstand A zwischen den Düsen 1a, 1b ist derart bemessen, daß die zu behandelnde Rippe 6 mit der Dicke D dazwischen anzurichten ist und gleichzeitig noch genügend Raum zwischen den
25 Düsen 1a, 1b und den Rippenoberflächen verbleibt, um einen störungsfreien Abfluß des Strahlmittels zu gewährleisten.

In Figur 1 ist der Fall bei senkrecht zur Rippe 6 ausgerichteten Düsen 1a/1b dargestellt. Es ist jedoch auch möglich, die Partikelstrahlen schräg von oben unter einem Winkel abweichend von 90° auf der Rippenoberfläche auftreffen zu lassen. Die Düsen 1a/1b können dann in einer Ebene oberhalb der Rippenoberseite angeordnet und verfahren werden.

- 5 Die gemeinsame Längsachse 7 beider Düsen 1a/ 1b, verläuft senkrecht zu den beiden Seitenflächen 8a und 8b der Rippe 6. Somit ist sichergestellt, daß auf den sich gegenüberliegenden Seitenflächen 8a und 8b gegenüberliegende und im wesentlichen kongruente Oberflächenbereiche von den Strahlen 3a und 3b beaufschlagt werden. Im Falle gleicher Strahlmittelintensität herrscht somit im Bereich der beaufschlagten Rippenabschnitte 10 ein Kräftegleichgewicht, das eine Knickung oder einseitige Auslenkung der Rippe 6 verhindert.

Den Figuren 2a und 2b läßt sich ein ausschnittsweise und perspektivisch in einer Seitenansicht dargestelltes Strukturbau teil 4 entnehmen, bei dem ein von einem Rippenkopf 9 ausgehender Längsstreifen 10 der parallel zur Längserstreckung der Rippe 6 verläuft, 15 besonders vorgehoben ist. Dieser Längsstreifen 10, dessen Breite 11 ca. 40 % der Höhe 12 der Rippe 6 ausmacht, wird mit Hilfe der Düse 2b mit Strahlmittel beaufschlagt. Entsprechend wird ein gegenüberliegender in den Figuren nicht sichtbarer Längsstreifen 10b mit gleicher Breite 11 ebenfalls mit Strahlmittel beaufschlagt, und zwar unter Zuhilfenahme der Düse 2a. 20 Die in Figur 1 dargestellten Düsenanordnung ist daher insgesamt, d. h. ohne daß die beiden Düsen 2a/2b ihre Position und Ausrichtung relativ zueinander ändern, in Längsrichtung der Rippe 6 – beispielsweise mit konstanter Geschwindigkeit – verfahrbar.

In Figur 2 c ist dargestellt, welche Form das Strukturbau teil 4 nach einer Strahlmittelbehandlung im Bereich der Längsstreifen 10a und 10b eingenommen hat. Aufgrund der im Bereich des Rippenkopfes 9 eintretenden Materialdehnung, d. h. einer 25 Verlängerung des Bauteils in diesem Bereich, nimmt sowohl die Rippe 6 als auch der einstückig damit verbundene Grundkörper 5 eine konkav gekrümmte Form ein. Trotz der gekrümmten Form liegen die Seitenflächen 8a und 8b der Rippe 6 innerhalb jeweils einer Ebene.

Zusätzlich zu der Krümmung in Längsrichtung der Rippe 6 kann das Strukturbau teil 4 durch 30 eine Strahlbehandlung entweder der Unterseite 13 oder der Oberseite 14 des Grundkörpers 5 zusätzlich eine Krümmung senkrecht zur Längserstreckung der Rippen 6 erhalten. Auf diese Weise lassen sich sattelförmige Strukturen erzeugen.

- 8 -

Im Fall von Strukturauteilen mit Kassettenstruktur, d. h. sich kreuzenden Rippen in Längs- und Querrichtung des Bauteils läßt sich eine derartige sattelförmige Struktur allein durch Strahlbehandlung der Rippen erzielen. Optional ist jedoch auch hier eine zusätzliche Strahlbehandlung des Grundkörpers möglich.

- 5 Die Figuren 3 a bis 3c zeigen den Fall, daß mit Hilfe einer Strahlmittelbehandlung eine konkave Krümmung des Strukturauteils 4 erzeugt werden soll. Der Längsstreifen 10a' befindet sich in diesem Fall im Bereich des Rippenfußes 15 und schließt sich unmittelbar an die Oberseite 14 des Grundkörpers 5 an.

Nach erfolgter Strahlmittelbehandlung der sich gegenüber liegenden Längsstreifen 10a' und
10 b' nimmt das Strukturauteil 4 die in Figur 3c gezeigte konkav gekrümmte Form ein.
Aufgrund der Dehnung der Rippe 6 in deren Fußbereich wird gleichzeitig das Material des plattenförmigen Grundkörpers 5 mitgedehnt. Die Breite 11 der Längsstreifen 10a' und 10b'
beträgt wiederum etwa 40% der Höhe 12 des Strukturauteils 4.

Den Figuren 4 und 5 läßt sich schließlich noch die Dehnungsverteilung im Bereich der mit
15 Strahlmittel zu beaufschlagenden Längsstreifen 10a (am Rippenkopf) bzw. 10a' (am
Rippenfuß) entnehmen. Während die Dehnung bei dem in Figur 4 dargestellten Fall
ausgehend von einer unteren Begrenzungslinie 16 des Randstreifens 10a bis hin zu dem
Rippenkopf 9 linear von null auf einen Maximalwert zunimmt, wächst die Dehnung bei dem
Strukturauteil 4 gemäß Figur 5 ebenfalls linear ausgehend von einer oberen
20 Begrenzungslinie 17 des Längsrandstreifens 10a' bis zu dem Rippenfuß 15 am Übergang in
den Grundkörper 5, wo ein Maximalwert der Dehnung vorliegt.

Patentansprüche:

1. Verfahren zum Umformen von Strukturauteilen, insbesondere solchen zur Verwendung in der Luft- und Raumfahrt, wobei die Strukturauteile einen plattenförmigen Grundkörper und ungefähr rechtwinklig davon ausgehende einstückig mit dem Grundkörper verbundene langgestreckte und ungefähr parallel zueinander verlaufende Rippen besitzen, wobei die Umformung durch Partikel eines Strahlmittels erfolgt, die mit hoher Geschwindigkeit auf Oberflächenbereiche des Strukturauteils auftreffen und eine plastische Materialverformung bewirken, dadurch gekennzeichnet, daß auf gegenüberliegenden Längsseiten jeweils einer Rippe angeordnete, sich gegenüberliegende Oberflächenbereiche der Rippen gleichzeitig mit Partikeln des Strahlmittels beaufschlagt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein an einem Rippenfuß angrenzender Längsstreifen der Rippe mit Partikeln des Strahlmittels beaufschlagt wird, wobei die Breite des Längsstreifens maximal der Hälfte der Höhe der Rippe entspricht.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein an einem Rippenkopf angrenzender Längsstreifen der Rippe mit Partikeln des Strahlmittels beaufschlagt wird, wobei die Breite des Längsstreifens maximal der Hälfte der Höhe der Rippe entspricht.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Partikel des Strahlmittels einen mittleren Durchmesser von mehr als 4 mm aufweisen.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 – 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Partikel des Strahlmittels aus gegenüberliegenden aufeinander zugerichteten Düsen einer Strahlvorrichtung austreten, die in Längsrichtung und Hochrichtung der Rippen verfahren werden.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Düsen synchron in die selbe Richtung mit derselben Geschwindigkeit verfahren werden.
7. Vorrichtung zum Umformen von Strukturauteilen (4), insbesondere solchen zur Verwendung in der Luft- und Raumfahrt, wobei die Strukturauteile (4) einen plattenförmigen Grundkörper (5) und ungefähr rechtwinklig davon ausgehende, einstückig mit dem Grundkörper (5) verbundene, langgestreckte und ungefähr parallel zueinander

- 10 -

- verlaufende Rippen (6) besitzen, wobei mittels der Vorrichtung Partikel eines Strahlmittels unter hoher Geschwindigkeit auf Oberflächenbereiche des Strukturauteils (4) beförderbar sind, wo sie eine plastische Materialverformung bewirken, gekennzeichnet durch mindestens zwei Düsen (1a/ 1b) für einen gerichteten Austritt jeweils eines
5 Partikelstrahls (3a, 3b), wobei die Partikelstrahlen (3a, 3b) aufeinander zugerichtet sind und die Düsen (1a, 1b) einen größeren Abstand (A) voneinander aufweisen als die Dicke (D) der Rippen (6).
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Düsen (1a, 1b) in Zwischenräumen zwischen benachbarten Rippen (6) plazierbar sind.
- 10 9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Düsen (1a, 1b) gemeinsam in Längsrichtung und Hochrichtung der Rippen (6) verfahrbar sind.

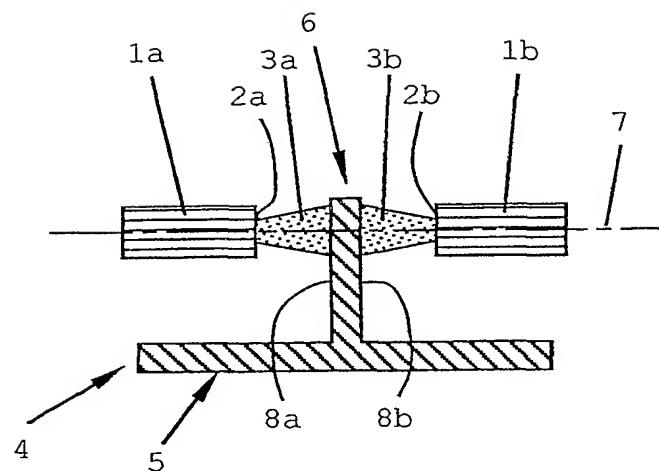


Fig. 1

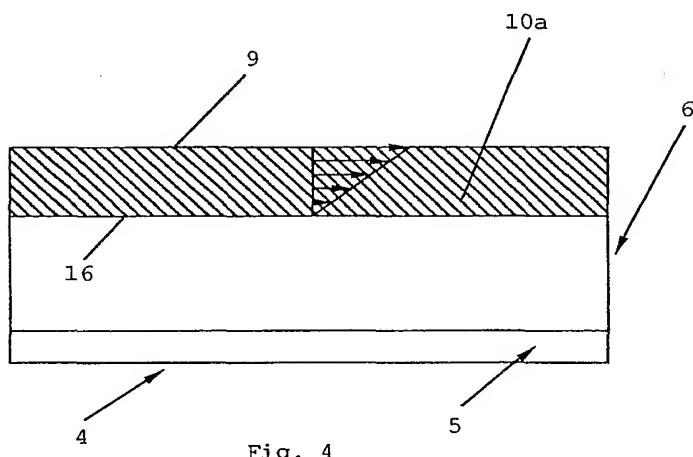


Fig. 4

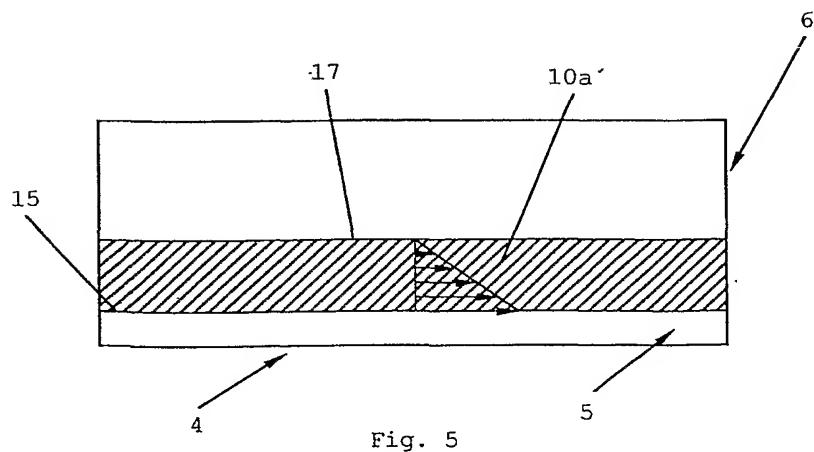


Fig. 5

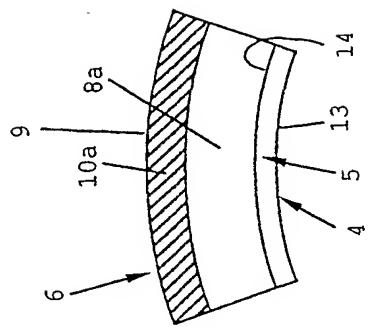


Fig. 2c

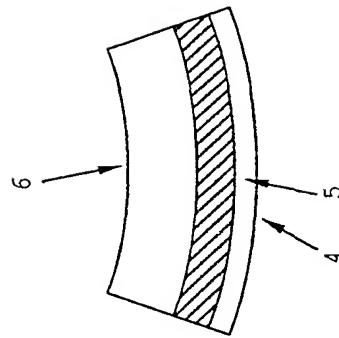


Fig. 3c

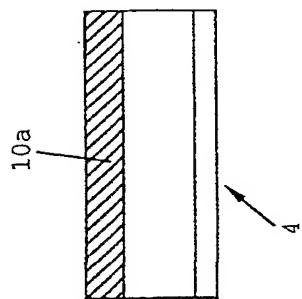


Fig. 2b

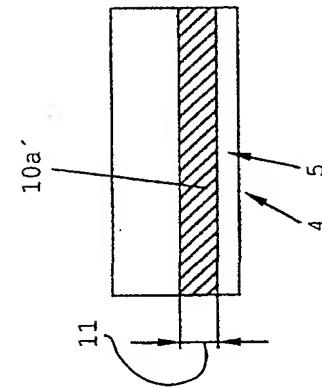


Fig. 3b

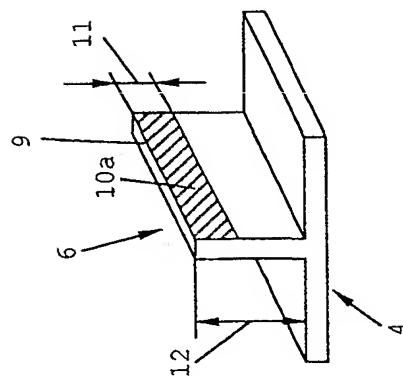


Fig. 2a

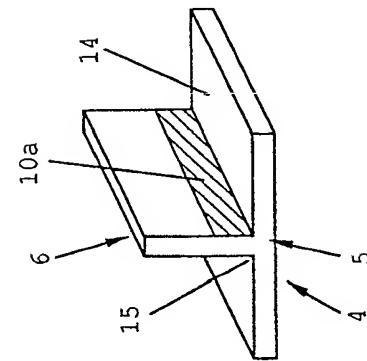


Fig. 3a

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int'l Application No
PCT/DE 01/02601

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 C21D7/06 B21B31/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 C21D B21B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category ^a	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 4 329 862 A (HARBURN BRIAN ET AL) 18 May 1982 (1982-05-18) cited in the application the whole document ---	1
Y	DE 29 09 303 A (HARMS WILLY) 18 September 1980 (1980-09-18) claims; figures ---	1
A	US 5 771 729 A (BAILEY PETER G ET AL) 30 June 1998 (1998-06-30) ---	
A	US 4 350 035 A (KOPP REINER ET AL) 21 September 1982 (1982-09-21) ---	-/-

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 15 November 2001	Date of mailing of the international search report 28/11/2001
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Mollet, G

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE 01/02601

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	R. KOPP ET AL: "Kugelstrahl-Umformen und -Richten" METALL, vol. 34, no. 4, April 1980 (1980-04), pages 320-323, XP002182934 Heidelberg -----	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int'l Application No
PCT/DE 01/02601

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
US 4329862	A	18-05-1982	DE	3165299 D1	13-09-1984
			EP	0032780 A1	29-07-1981
			JP	1026823 B	25-05-1989
			JP	1542486 C	15-02-1990
			JP	56146672 A	14-11-1981
DE 2909303	A	18-09-1980	DE	2909303 A1	18-09-1980
US 5771729	A	30-06-1998	EP	0888845 A2	07-01-1999
			JP	11104747 A	20-04-1999
US 4350035	A	21-09-1982	DE	2906509 A1	28-08-1980
			FR	2449492 A1	19-09-1980
			GB	2042950 A	01-10-1980
			SE	8001152 A	21-08-1980

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE 01/02601

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 C21D7/06 B21B31/06

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 C21D B21B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie ^a	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 4 329 862 A (HARBURN BRIAN ET AL) 18. Mai 1982 (1982-05-18) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument ---	1
Y	DE 29 09 303 A (HARMS WILLY) 18. September 1980 (1980-09-18) Ansprüche; Abbildungen ---	1
A	US 5 771 729 A (BAILEY PETER G ET AL) 30. Juni 1998 (1998-06-30) ---	
A	US 4 350 035 A (KOPP REINER ET AL) 21. September 1982 (1982-09-21) ---	
		-/-

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patenfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldeatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Aussstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldeatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldeatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- *&* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patenfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
15. November 2001	28/11/2001

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter
Mollet, G

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCI/DE 01/02601

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	R. KOPP ET AL: "Kugelstrahl-Umformen und -Richten" METALL, Bd. 34, Nr. 4, April 1980 (1980-04), Seiten 320-323, XP002182934 Heidelberg -----	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen PCT/DE 01/02601

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 4329862	A	18-05-1982	DE EP JP JP JP	3165299 D1 0032780 A1 1026823 B 1542486 C 56146672 A		13-09-1984 29-07-1981 25-05-1989 15-02-1990 14-11-1981
DE 2909303	A	18-09-1980	DE	2909303 A1		18-09-1980
US 5771729	A	30-06-1998	EP JP	0888845 A2 11104747 A		07-01-1999 20-04-1999
US 4350035	A	21-09-1982	DE FR GB SE	2906509 A1 2449492 A1 2042950 A 8001152 A		28-08-1980 19-09-1980 01-10-1980 21-08-1980